Ma-M614

Z 14,035

Über den

physikalisch-optischen Bau der Augen

vom

Schaf und Hund.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

einer

hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt

von

Walther Meyer

aus Halberstadt.

Rostock.

Carl Boldt'sche Hof-Buchdruckerei.

1897.

Harvard College Library
By Exchange
Dec. 18, 1897.

MUS. COMP. ZOOL.
LIBRARY

MAR 31 1982

HARVARD
UNIVERSITY

Referent: Professor Dr. phil. et med. L. Matthiessen.

Seinen lieben Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.

Einleitung.

Unter allen Augen ist das menschliche zuerst auf seine Dimensionen, Krümmungs- und Brechungsverhältnisse untersucht. Von den Berechnungen der Kardinalpunkte des schematischen menschlichen Auges ist die von Listing[1] die älteste, später bestimmte v. Helmholtz[2] dieselben nach von ihm verbesserten Daten. Bei diesen Berechnungen war allerdings der Totalindex der Krystalllinse, unter dem man den Index einer homogenen Linse von gleicher Form und Brennweite versteht, nicht durch Rechnung aus den partiellen Indices der Linsenschichten und den Niveauflächen derselben, sondern aus ophthalmometrischen Messungen gefunden. Theoretisch hatte v. Helmholtz[3] nachgewiesen, dass die Schichtung der Linse dieser eine grössere Brechkraft verleihe, als sie haben würde, wenn der Index gleich dem des Kernzentrums wäre. Erst durch das von Professor L. Matthiessen aufgestellte und durch vielfache Messungen von ihm, Prof. Mönnich und Klingberg bestätigte Gesetz über die Indiceszunahme von der äussersten

[1] v. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik, zweite Auflage, 1886, § 10, S. 89.

[2] v. Helmholtz, ebendaselbst, § 12, S. 140.

[3] v. Helmholtz, ebendaselbst, § 10, S. 94.

Kortikalis der Linse bis zum Kern derselben und durch die Matthiessen'sche Integrationsmethode wurde eine Berechnung des Totalindex möglich. Der von v. Helmholtz in die Rechnung eingeführte Wert war 1,4371, während L. Matthiessen[1] denselben durch Integrationsrechnung zu 1,4384 fand, also Werte, die fast genau übereinstimmen. Von L. Matthiessen wurden das menschliche Auge, die vieler Wirbeltiere, Vögel und Fische auf ihren optischen Bau untersucht, von Mönnich speziell das Rindsauge unter besonderer Berücksichtigung der Oberflächengestalt der Hornhaut und von Klingberg die Augen verschiedener Haustiere.

In der folgenden Abhandlung soll nun durch möglichst umfangreiches Material die Oberflächengestalt der Hornhaut der Augen vom Schaf und Hund festgestellt, und ausserdem sollen die Konstanten und die Kardinalpunkte beider Tieraugen bestimmt werden.

[1] L. Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse, Berlin-Eversbusch, Zeitschrift für vergleichende Augenheilkunde, V, 1887, S. 47.

I. Das Auge des Schafes.

A. Die Oberflächengestalt der Hornhaut.

Zur Bestimmung der Gestalt der Oberfläche der Hornhaut dienten nach dem Verfahren von Mönnich[1] hergestellte Gypspräparate. Von jedem Auge wurden 2 Abgüsse, der eine im horizontalen, der andere im vertikalen Meridian durchsägt, angewandt. Mittelst eines elektrischen Projektionsapparates des physikalischen Instituts in Rostock wurden von denselben vollständig scharfe Bilder in siebenfacher Vergrösserung auf ein mit einem Zeichenbogen bespanntes Reissbrett entworfen. Die so erhaltenen Kurven wurden mit einem scharfen Bleistift mit grosser Genauigkeit nachgezogen und die Zeichnungen, wie Mönnich es in seiner Arbeit angegeben, weiter behandelt. Tafel I giebt die Originalzeichnung von einem horizontalen und Tafel II die von einem vertikalen Meridionalschnitt der Oberfläche der Hornhaut mit den nötigen Konstruktionen und Bezeichnungen. Die mathematischen Untersuchungen der Figuren mögen auf Kurven zweiter Ordnung beschränkt bleiben und, da Mönnich[2]

[1] Mönnich, Über den physikalisch-optischen Bau des Rindsauges, Inaugural-Dissertation, 1883, S. 2 u. f.

[2] Mönnich, ebendaselbst, S. 12.

beim Rindsauge und Klingberg[1] auch schon beim Schafsauge für die einzelnen Schnitte Ellipsen gefunden hatten, die Kurven auf die Koincidenz mit letzteren geprüft werden.

Die Scheitelgleichung der Ellipse für rechtwinklige Koordinaten ist:

$$y = \frac{b}{a}\sqrt{2\,a\,x - x^2},$$

in welcher Formel a die grosse und b die kleine Halbachse bedeuten. Für zwei Werte von x wurden die zugehörigen von y gemessen, und mit Hülfe dieser mit $x_1\,x_2$ und $y_1\,y_2$ bezeichneten Grössen konnten die Konstanten berechnet werden. Die grosse Halbachse ergiebt sich aus:

$$a = \frac{x_1^{\,2}\,y_2^{\,2} - x_2^{\,2}\,y_1^{\,2}}{2\,(x_1\,y_2^{\,2} - x_2\,y_1^{\,2})},$$

und die kleine Halbachse aus:

$$b = \frac{a\,.\,y_1}{\sqrt{2\,a\,x_1 - x_1^{\,2}}} = \frac{a\,.\,y_2}{\sqrt{2\,a\,x_2 - x_2^{\,2}}}.$$

Jetzt war man imstande, zu beliebig eingesetzten Werten von x die zugehörigen Ordinaten zu berechnen und diese mit den gemessenen Ordinaten zu vergleichen. Präparate von vier enukleierten Augen wurden für die Messungen und Berechnungen benutzt. Bei den diesbezüglich untersuchten vier Tieren sind die allerdings nur annähernd richtigen Angaben über das Alter der Individuen hinzugefügt (siehe Tabelle I). Auge I gehörte einem vierjährigen Schafe an, Auge II stammte von einem sechsjährigen Hammel, Auge III von einem dreijährigen Schaf, und Auge IV war das eines Bockes von zwei Jahren.

In der nun folgenden ersten Tabelle sind die numerischen Werte für $x_1\,x_2$ und $y_1\,y_2$ angegeben und gelten dieselben für den horizontalen Meridian.

---

[1] Klingberg, Beiträge zur Dioptrik der Augen einiger Haustiere, Schulprogramm von Güstrow 1892, I. Teil, S. 14.

a. Der horizontale Meridian.

Tabelle I.

Auge	Abscissen	Ordinaten
I.	x_1=4,0 mm x_2=1,0 „	y_1=9,00 mm y_2=4,71 „
II.	x_1=4,0 „ x_2=1,0 „	y_1=9,50 „ y_2=4,96 „
III.	x_1=4,0 „ x_2=1,0 „	y_1=8,86 „ y_2=4,64 „
IV.	x_1=4,0 „ x_2=1,0 „	y_1=8,47 „ y_2=4,43 „

Durch Rechnung ergab sich:

Tabelle II.

Auge	Grosse Halbachse a	Kleine Halbachse b	Krümmungsradius ϱ	Verhältnis a : b
I.	17,40 mm	14,11 mm	11,44 mm	1,23
II.	18,60 „	15,33 „	12,64 „	1,21
III.	17,46 „	13,91 „	11,08 „	1,26
IV.	18,10 „	13,51 „	10,09 „	1,34
Mittel	17,89 „	14,22 „	11,31 „	1,26

Die in der dritten Kolumne für den Scheitel S (Tafel I) angegebenen Krümmungsradien erhält man aus:

$$\varrho = \frac{b^2}{a}.$$

In der nächsten Zusammenstellung sind die gemessenen und berechneten Werte für die Ordinaten und Abscissen enthalten, ferner die Differenzen zwischen den gemessenen und berechneten Ordinaten, und der Winkel v, den die grosse Achse der Ellipse mit der Augenachse bildet, wo man unter letzterer die Mittelsenkrechte der Geraden versteht, die die beiden Hornhautfalzpunkte A und B (Tafel I) verbindet. Der Punkt A ist lateral und der Punkt B nasal. Die gemessenen Ordinaten sind stets mit y, die berechneten stets mit η bezeichnet.

Tabelle III.

Auge	x	ber. η	beob. y	$y - \eta$	v
I.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}36$ mm	$y_3 = 3{,}36$ mm	—	$4^0\,7'\,6''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}73$ „	$y_4 = 5{,}71$ „	$-0{,}02$ mm	
	$x_5 = 2.0$ „	$\eta_5 = 6{,}57$ „	$y_5 = 6{,}54$ „	$-0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}29$ „	$y_6 = 7{,}29$ „	—	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}92$ „	$y_7 = 7{,}90$ „	$-0{,}02$ „	
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}49$ „	$y_8 = 8{,}50$ „	$+0{,}01$ „	
	$x_9 = 4{,}5$ „	$\eta_9 = 9{,}47$ „	$y_9 = 9{,}49$ „	$+0{,}02$ „	
	$x_{10} = 5{,}0$ „	$\eta_{10} = 9{,}90$ „	$y_{10} = 9{,}93$ „	$+0{,}03$ „	
II.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}53$ mm	$y_3 = 3{,}54$ mm	$+0{,}01$ mm	$4^0\,17'\,21''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 6{,}03$ „	$y_4 = 6{,}03$ „	—	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}92$ „	$y_5 = 6{,}89$ „	$-0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}68$ „	$y_6 = 7{,}64$ „	$-0{,}04$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 8{,}35$ „	$y_7 = 8{,}34$ „	$-0{,}01$ „	
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}95$ „	$y_8 = 8{,}91$ „	$-0{,}04$ „	
	$x_9 = 4{,}5$ „	$\eta_9 = 10{,}00$ „	$y_9 = 9{,}94$ „	$-0{,}06$ „	
	$x_{10} = 5{,}0$ „	$\eta_{10} = 10{,}46$ „	$y_{10} = 10{,}43$ „	$-0{,}03$ „	
III.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}31$ mm	$y_3 = 3{,}33$ mm	$+0{,}02$ mm	$4^6\,0'\,15''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}64$ „	$y_4 = 5{,}69$ „	$+0{,}05$ „	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}46$ „	$y_5 = 6{,}43$ „	$-0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}17$ „	$y_6 = 7{,}14$ „	$-0{,}03$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}80$ „	$y_7 = 7{,}79$ „	$-0{,}01$ „	
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}35$ „	$y_8 = 8{,}40$ „	$+0{,}05$ „	
	$x_9 = 4{,}5$ „	$\eta_9 = 9{,}32$ „	$y_9 = 9{,}40$ „	$+0{,}08$ „	
	$x_{10} = 5{,}0$ „	$\eta_{10} = 9{,}74$ „	$y_{10} = 9{,}83$ „	$+0{,}09$ „	
IV.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}50$ mm	$y_3 = 3{,}47$ mm	$-0{,}03$ mm	$3^0\,36'\,17''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}39$ „	$y_4 = 5{,}43$ „	$+0{,}04$ „	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}17$ „	$y_5 = 6{,}20$ „	$+0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}85$ „	$y_6 = 6{,}86$ „	$+0{,}01$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}45$ „	$y_7 = 7{,}43$ „	$-0{,}02$ „	
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 7{,}99$ „	$y_8 = 7{,}97$ „	$-0{,}02$ „	
	$x_9 = 4{,}5$ „	$\eta_9 = 8{,}92$ „	$y_9 = 8{,}94$ „	$+0{,}02$ „	
	$x_{10} = 5{,}0$ „	$\eta_{10} = 9{,}32$ „	$y_{10} = 9{,}36$ „	$+0{,}04$ „	

Da die zusammengehörigen η und y nur um geringe Grössen von einander abweichen, so darf man wohl den horizontalen Meridionalschnitt der Hornhaut sehr angenähert als Ellipse auffassen. Was den Winkel v betrifft, so differieren die einzelnen Werte verhältnismässig wenig. Das Mittel ergiebt sich zu $4^0\ 0'\ 15''$, während Klingberg[1] in der betr. Abhandlung ohne Angabe der einzelnen Winkelgrössen für dasselbe den beträchtlich höheren Wert von $7^0\ 5'$ gefunden hat.

b. Der vertikale Meridian.

Bei der Anfertigung vertikaler Schnitte müsste eigentlich auf den Winkel v, den die Augenachse mit der grossen Achse der Ellipse beim horizontalen Hornhautmeridionalschnitt einschliesst, Rücksicht genommen werden; da aber der Winkel v sehr klein und es sehr schwierig ist, einen Schnitt durch die grosse Achse der Ellipse zu führen, so wurde davon Abstand genommen, und der Schnitt durch die Augenachse gelegt. Zunächst mögen wie vorher die vier gemessenen Koordinaten x_1 x_2 y_1 y_2 angeführt werden.

Tabelle IV.

Auge	Abscissen	Ordinaten
I.	$x_1 = 4{,}0$ mm	$y_1 = 9{,}07$ mm
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}71$ „
II.	$x_1 = 4{,}0$ „	$y_1 = 9{,}50$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}95$ „
III.	$x_1 = 4{,}0$ „	$y_1 = 9{,}04$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}67$ „
IV.	$x_1 = 3{,}5$ „	$y_1 = 8{,}08$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}46$ „

Tabelle V enthält die Ausdrücke a, b, ϱ, a : b, welche dieselbe Bedeutung wie beim horizontalen Meridionalschnitt haben.

[1] Klingberg, Beiträge etc, I. Theil, S. 15.

Tabelle V.

Auge	Grosse Halbachse a	Kleine Halbachse b	Krümmungsradius ϱ	Verhältnis a:b
I.	20,63 mm	15,33 mm	11,39 mm	1,35
II.	19,45 „	15,64 „	12,57 „	1,24
III	24,14 „	16,40 „	11,14 „	1,47
IV.	20,58 „	14,48 „	10,19 „	1,42
Mittel	21,20 „	15,46 „	11,32 „	1,37

In folgendem soll die Untersuchung über die Übereinstimung des vertikalen Meridians mit der Gestalt einer Ellipse ebenfalls gegeben werden, unter η sind wieder die berechneten, unter y die gemessenen Ordinaten zu verstehen.

Tabelle VI.

Auge	x	ber. η	beob. y	y—η
I.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}35$ mm	$y_3 = 3{,}3$ mm	+ 0,02 mm
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}74$ „	$y_4 = 5{,}74$ „	—
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}58$ „	$y_5 = 6{,}60$ „	+ 0,02 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}31$ „	$y_6 = 7{,}34$ „	+ 0,03 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}96$ „	$y_7 = 8{,}00$ „	+ 0,04 „
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}54$ „	$y_8 = 8{,}53$ „	— 0,01 „
II.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}52$ mm	$y_3 = 3{,}54$ mm	+ 0,02 mm
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 6{,}02$ „	$y_4 = 6{,}00$ „	— 0,02 „
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}91$ „	$y_5 = 6{,}87$ „	— 0,04 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}67$ „	$y_6 = 7{,}71$ „	+ 0,04 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 8{,}34$ „	$y_7 = 8{,}29$ „	— 0,05 „
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}95$ „	$y_8 = 8{,}88$ „	— 0,07 „
III.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}32$ mm	$y_3 = 3{,}29$ mm	— 0,03 mm
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}69$ „	$y_4 = 5{,}66$ „	— 0,03 „
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6{,}54$ „	$y_5 = 6{,}51$ „	— 0,03 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 7{,}27$ „	$y_6 = 7{,}29$ „	+ 0,02 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}92$ „	$y_7 = 7{,}94$ „	+ 0,02 „
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 8{,}50$ „	$y_8 = 8{,}51$ „	+ 0,01 „
IV.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}17$ mm	$y_3 = 3{,}17$ mm	—
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}43$ „	$y_4 = 5{,}47$ „	+ 0,04 mm
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 6\,23$ „	$y_5 = 6{,}20$ „	— 0,03 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}92$ „	$y_6 = 6{,}94$ „	+ 0,02 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}53$ „	$y_7 = 7{,}57$ „	+ 0,04 „

Die Differenzen $y - \eta$ sind äusserst gering, sie betragen nur hundertstel Millimeter, weshalb wir auch hier den Vertikalschnitt der Hornhaut sehr angenähert als Ellipse ansehen können.

Die Krümmungsradien beider Schnitte sind ein wenig von einander verschieden, und es ist ausserdem die Differenz derselben bald positiv, bald negativ. Es scheint also Hornhautastigmatismus und zwar ungleichmässiger vorhanden zu sein, ein Resultat, welches auch Klingberg[1] bei seinen an Schafsaugen angestellten Untersuchungen gefunden hat.

Zum Vergleich der einzelnen Radien möge die nächste Tabelle dienen.

Tabelle VII.

Auge	ϱ h	ϱ v	ϱ h — ϱ v
I.	11,44 mm	11,39 mm	+ 0,05 mm
II.	12,64 „	12,57 „	+ 0,07 „
III.	11,08 „	11,14 „	— 0,06 „
IV.	10,09 „	10,19 „	— 0,10 „

Durch vorstehende Ausführungen glauben wir nachgewiesen zu haben, dass sowohl der horizontale als auch der vertikale Meridian der Hornhautoberfläche sehr angenäherte Ellipsen sind, und dass beim Auge des Schafes eine verhältnismässig geringe Asymmetrie der Hornhaut vorhanden ist. Wenn man jetzt die von Wolfskehl[2] an Kalbsaugen gefundene Thatsache berücksichtigt, dass sich die grössten Differenzen der Krümmungsradien zwischen dem horizontalen und vertikalen Meridian ergeben, so kann die normale Oberfläche der Hornhaut des Schafsauges als Scheitel-Segment eines oblongen Rotationsellipsoides aufgefasst

[1] Klingberg, Beiträge etc., I. Theil, S. 16.

[2] Wolfskehl, Über Astigmatismus in Tieraugen und die Bedeutung der spaltförmigen Pupille, 1882, S. 10—11.

werden. Schliesslich sei noch auf das Mittel aus den Verhältnissen a und b hingewiesen, das für den horizontalen Schnitt 1,26 und für den vertikalen 1,37 beträgt; die von Klingberg[1] gefundenen Werte sind 1,37 und 1,43.

Wir wollen die für das Hornhautellipsoid gefundenen Axenverhältnisse (Tab. II und V) noch prüfen auf ein wichtiges Theorem, welches von L. Matthiessen[2] gefunden ist in Betreff der Zweckmässigkeit dieser Gestalt für das periskopische Sehen. Das oblonge Rotationsellipsoid und ausserdem auch das Paraboloid und zweischalige Hyperboloid haben nämlich die Eigenschaft, dass alle diejenigen unendlich dünnen cylindrischen Strahlenbündel, welche nach der Brechung in ihrer Oberfläche bei schiefer Incidenz einen der beiden Foci des elliptischen Meridianes (hier den vorderen) passiren, homozentrisch (stigmatisch, aplanatisch) bleiben, ganz unabhängig von dem Brechungsindex des Mediums. Da nun das peripherische Gesichts- oder Objektfeld des Auges durch die im Vergleich zur Pupille verhältnismässig grosse Hornhaut bedeutend gegen das Zentrale erweitert ist, so werden die Strahlen des seitlichen Gesichtsfeldes hauptsächlich die vordere Linsenhälfte passiren und infolgedessen seitlich gelegene Gegenstände auf der peripherischen Retina genügend scharfe Bilder geben, wenn der vordere Brennpunkt des elliptischen Meridians in der vorderen Linsenhälfte liegt. Dies ist bei den bis jetzt genauer auf ihre Krümmung untersuchten Hornhäuten von Menschen und Tieren in der That immer der Fall, wie folgende Zusammenstellung[3] unserer Resultate mit denjenigen früherer Beobachter erweist.

---

[1] Klingberg, Beiträge etc., I. Teil, S. 15.

[2] L. Matthiessen, Die Differenzialgleichungen der Dioptrik etc. Pflügers Arch., XIX., 1879, S. 523—526.

Detels, Über homocentrische Brechung unendlich dünner cylindrischer Strahlenbündel in Rotationsflächen II. O. Inaug.-Diss. Rostock, 1887.

[3] L. Matthiessen, Die neueren Fortschritte etc. Tab. IV.

Dabei bedeutet:

d_1 den Ort des vorderen Linsenscheitels

$f = a - \sqrt{a^2 - b^2}$ den Ort des I. Fokus,

$d_1 + {}^1/_2 d_2$ den Ort der Linsenmitte.

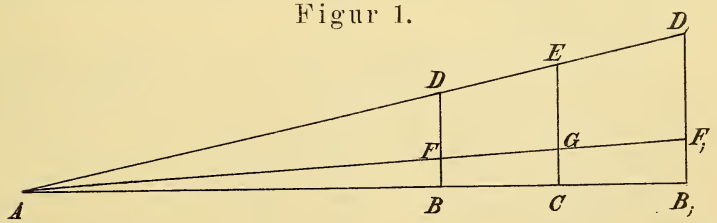
Auge	d_1	f	$d_1 + {}^1/_2 d_2$
Mensch	3,6 mm	5,07 mm	5,4 mm
Rind	5,4 „	9,62 „	11,4 „
Pferd	7,2 „	9,66 „	13,3 „
Schaf (Klingberg) . .	4,1 „	5,79 „	9,1 „
„ (Meyer)	3,45 „	6,87 „	8,4 „
Schwein	3,4 „	4,31 „	7,2 „
Katze (hor.)	4,5 „	4,69 „	8,5 „
„ (vert.)	4,5 „	5,76 „	8,5 „
Mittel:	4,5 mm	6,5 mm	9,0 mm

Hieraus geht hervor, dass der Fokus immer nahezu in der Mitte zwischen Linsenscheitel und Linsenmitte liegt.

B. Die Krümmungsradien der brechenden Medien und die linearen Dimensionen.

Zur direkten Beobachtung der Krümungsradien der Hornhaut und der beiden Linsenflächen wurde die Methode von L. Matthiessen[1] benutzt, die auf der Adaptation von Kreisen beruht. Zur näheren Erläuterung diene folgende schematische Skizze

Figur 1.



[1] L. Matthiessen, Die neueren Fortschritte in unserer Kenntnis von dem optischen Bau des Auges der Wirbeltiere, Festschrift zum 70. Geburtstag von Hermann von Helmholtz, 1891, S. 15.

A sei der optische Knotenpunkt eines Ablesemikroskopes, mit Hülfe dessen sämtliche Beobachtungen ausgeführt wurden, C der Mittelpunkt des Bulbus, E der Scheitelpunkt der Hornhaut; in B D sei eine mit konzentrischen Millimeterkreisen versehene Glasscheibe aus der optischen Werkstatt von Dr. Steeg & Reuter in Homburg angebracht. Nachdem das Mikroskop auf E vollständig scharf eingestellt war, wurde durch vertikale Verschiebung des Keratometers der Kreis gesucht, der mit der zu beobachtenden Krümmung möglichst genau zusammenfiel. Hierbei möge der Mittelpunkt der Scheibe in F, der des adaptiven Krümmungskreises in G fallen, den Schnittpunkt von C E und der Verlängerung von A F, dann ist F D der auf der Glasscheibe abgelesene Radius und G E der Radius der Hornhautkrümmung. Zur Korrektion der Parallaxe hat man folgende Proportion $EG:DF=AC:AB$, aus der der Krümmungsradius zu berechnen ist, sobald man die Enfernungen A C und A B kennt. Um die Messung genauer durchzuführen, wurde das Keratometer ein zweites Mal in der Entfernung B C hinter das Auge gebracht, so dass $B_1C=BC$ war. Den Krümmungsradius erhält man jetzt aus der Proportion $EG:D_1F_1=AC:AB_1$. Eine Kontrolle hat man dann noch in dem Mittel aus den beiden abgelesenen Werten D F und D_1F_1, welches ebenfalls den wahren Krümmungsradius liefert. Es möge nun der Apparat (Tafel III.), der zur Bestimmung der Radien konstruirt wurde, beschrieben werden.

Damit das Keratometer K sowohl vor als auch hinter dem Auge aufgestellt werden konnte, war dasselbe mit einem Gestell G fest verbunden, welches sich in einer Führung F in horizontaler Richtung, also von X nach Y und umgekehrt verschieben liess. Ausserdem war die mit einem Zeiger Z versehene Glasscheibe um eine vertikale Achse A drehbar, so dass dieselbe vollständig umgelegt werden konnte, und der Zeiger nach vorn zu liegen kam.

Auf diese Weise war es möglich, das Keratometer vorwärts und rückwärts zu bewegen, ohne die Lage des Auges zu ändern. Die auf- und niedergehende Verstellbarkeit wurde durch die Mikrometerschraube M erreicht, die mit dem Schlitten S verbunden war. Eine in der Führung H befindliche und in der Zeichnung weggelassene Feder diente dazu, den Schlitten S von der Platte P fortzudrücken, um eine Lösung der Schraubenmutter beim Aufwärtsgehen der Scheibe zu verhindern. An dem Apparat sind dann noch zwei Massstäbe angebracht, von denen der eine, welcher in der Grundplatte eingelassen ist, zum Ablesen der Entfernung der Mitte des Auges und des Mikroskops diente, während durch den andern horizontal unter dem Zeiger befestigten Massstab der Abstand der Augenmitte von der Glasscheibe gemessen wurde.

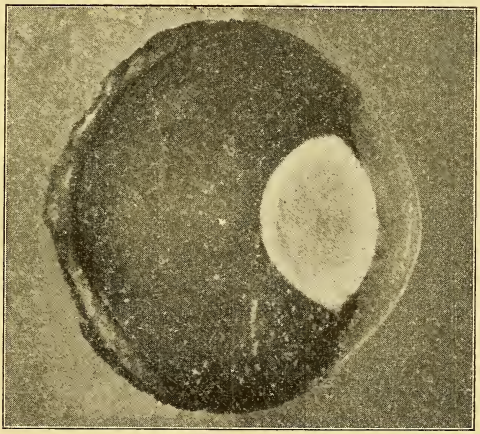
In der folgenden Tabelle sind die in der ersten Reihe für die einzelnen Krümmungen stehenden Werte die für einen Stand des Keratometers vor dem Auge gefundenen, die in der zweiten diejenigen, bei denen sich die Scheibe hinter dem Auge befand. Die in der dritten Zeile angegebenen Grössen sind die Mittel aus den zusammengehörigen abgelesenen Radien.

Tabelle VIII.

Geschlecht und Alter des Tieres	S. 1½	S. 1½	S. 1½	S. 2	H. 2	S. 2	S. 3	H. 3	H. 4	H. 4	H. 4	H. 4	H. 4	H. 5	S. 5	Mittel
Krümmungsradius der Hornhaut horizontal $r_0 h$	11,34	11,13	10,71	10,29	12,29	10,92	12,18	10,91	11,45	12,29	11,81	11,62	12,05	11,87	11,97	
	11,26	11,17	10,69	10,21	12,22	11,45	12,12	10,71	11,45	12,22	12,18	11,39	11,86	11,84	11,93	11,52 mm
	11,30	11,15	10,70	10,25	12,25	11,20	12,15	10,80	11,45	12,25	12,00	11,50	11,95	11,85	11,95	
Krümmungsradius der Hornhaut vertikal $r_0 v$	11,45	10,92	11,03	10,50	12,39	11,34	12,39	10,91	11,55	12,29	11,49	11,56	11,84	11,76	11,66	
	11,36	10,98	11,07	10,40	12,41	11,36	12,31	11,37	11,74	12,22	11,51	11,35	11,86	11,65	11,74	11,55 mm
	11,40	10,95	11,05	10,45	12,40	11,35	12,35	11,15	11,65	12,25	11,50	11,45	11,85	11,70	11,70	
Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche r_1	9,33	9,65	—	9,02	10,16	10,37	10,01	8,71	—	9,65	9,13	9,60	11,24	10,27	10,27	
	9,37	9,66	—	8,98	10,33	10,62	10,00	8,79	—	9,66	9,17	9,60	11,17	10,33	10,43	9,83 mm
	9,35	9,65	—	9,00	10,25	10,50	10,01	8,75	—	9,65	9,15	9,60	11,20	10,30	10,35	
Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche r_2	7,26	8,19	—	7,16	7,88	7,26	7,60	7,57	—	7,72	7,57	7,72	7,60	8,19	8,09	
	7,34	8,21	—	7,24	8,01	7,34	7,70	7,53	—	7,78	7,53	7,68	7,70	8,21	8,21	7,70 mm
	7,30	8,20	—	7,20	7,95	7,30	7,65	7,55	—	7,75	7,55	7,70	7,65	8,20	8,15	

Die Längsdimensionen des Auges wurden an gefrorenen Objekten bestimmt. Um Gewissheit darüber zu haben, dass sich dieselben beim Gefrieren nicht oder doch unwesentlich änderten, wurde der Durchmesser des enukleierten Bulbus mittelst Tasters gemessen und mit dem im gefrorenen Zustande verglichen. Hierbei zeigte sich, dass die Übereinstimmung eine für die Berechnung vollständig hinreichende war. Figur 2 ist ein Bild eines durch den horizontalen Meridian eines Schafsauges gelegten Schnittes, der durch Spalten des Auges im geforenen Zustande erhalten wurde.

Figur 2.



Die nach obiger Methode ausgeführten Messungen ergaben folgende Werte:

Tabelle IX.

Geschlecht und Alter des Thieres.	S. 1½	S. 1½	S. 1½	S. 2	H. 2	S. 2	S. 3	H. 3	H. 4	H. 4	H. 4	H. 4	H. 4	H. 5	S. 5	Mittel
Dicke der Hornhaut	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	0,7	0,6	0,61
Ort des vorderen Linsenscheitels S_2 d_1	3,3	3,7	3,3	2,8	3,1	3,1	4,1	2,9	4,3	3,3	3,1	3,2	2,9	4,4	4,3	3,45
Ort des Kernzentrums M $d_1 + b_1$	8,0	8,2	7,7	7,1	7,8	7,0	9,0	7,4	8,5	6,8	7,3	7,8	8,2	8,4	9,0	7,88
Ort des hinteren Linsenscheitels S_3 $d_1 + d_2$	13,1	13,7	12,3	11,7	13,2	12,7	14,2	12,7	14,2	14,2	13,1	13,0	13,4	14,4	14,6	13,37
Achse der Krystallinse d_2	9,9	10,0	9,0	8,9	10,1	9,6	10,1	9,8	9,9	10,9	10,0	9,8	10,5	10,0	10,3	9,92
Ort der Retina R S_1 R	26,7	26,8	25,9	25,6	26,6	26,2	27,5	26,7	27,7	27,2	26,5	26,0	27,3	27,4	27,0	26,74
Durchmesser der Krystallinse	14,8	14,3	13,4	13,5	—	14,4	15,5	14,2	15,5	13,8	15,1	13,7	14,8	—	16,5	14,58

C. Die Brechungsindices der Augenmedien.

Mit einem von Zeiss in Jena hergestellten Abbe'schen Refraktometer wurden die Indices der lichtbrechenden Medien gemessen; die aus je zehn Ablesungen bei fünfmaliger Umsetzung des Kompensators gewonnenen Resultate sind in Tabelle X aufgezeichnet. Der Index des gebrauchten Instrumentes entspricht dem Natriumlicht für Wasser $n_D = 1{,}3340$, wobei der Fehler des Instrumentes gleich 0 gefunden wurde. In Bezug auf den Totalindex der Linse sei bemerkt, dass derselbe nach dem von L. Matthiessen[1] aufgestellten Gesetze über die Indiceszunahme von der äussersten Kortikalis der Linse bis zum Kern derselben berechnet wurde. Untersuchungen, die von L. Mathiessen selbst und später von Mönnich und Klingberg angestellt wurden, haben den untrüglichen Beweis der Richtigkeit des oben erwähnten Gesetzes geliefert. Dasselbe lautet folgendermassen:

Die Kurve der partiellen Indices der einzelnen Linsenschichten von der äussersten Kortikalis bis zum Kernzentrum ist eine Parabel.

Hierfür ist die von L. Matthiessen angegebene analytische Formel:

$$N = Nm - (Nm - N_1)\left(\frac{y}{b}\right)^2,$$

in der N der Brechungsindex irgend einer Schicht im Abstande y vom Linsenkern, N_1 der Brechungsindex der Kortikalis, Nm der Index des Kernzentrums und b die Entfernung des letzteren von der Linsenkapsel bedeuten.

---

[1] L. Matthiessen, Die Differenzialgleichungen der Dioptrik der geschichteten Krystalllinse, Pflügers Archiv, XIX. Bd., S. 494. Bonn 1879.

In obiger Formel setzt L. Matthiessen $\frac{Nm - N_1}{N_1} = \zeta$ und nennt ζ das Inkrement. Die Gleichung geht dann über in die parabolische Form:

$$N = N_1 \left(1 + \zeta \frac{b^2 - y^2}{b^2}\right)$$

Aus diesem Ausdruck lässt sich unter Benutzung der Matthiessen'schen Integrationsmethode[1] der Totalindex für die ungleichseitige Linse in Berücksichtigung ihrer beiden Hälften wie folgt berechnen:

$$N = n N_1 = N_1 \left(1 + 2\zeta + {}^4/_3 \zeta^2 \frac{b_1 + b_2}{r_1 + r_2}\right)$$

In unserem Falle ist bei Zugrundelegung der Mittelkolumnen in Tafel X

$$\zeta = \frac{1{,}4579 - 1{,}3854}{1{,}3854} = 0{,}0523$$

$b_1 = 4{,}43 \qquad b_2 = 5{,}49$

$r_1 = 9{,}83 \qquad r_2 = -7{,}70.$

Mit b_1 ist der vordere und mit b_2 der hintere Teil der Linsenachse bezeichnet.

Die Rechnung ergab:

$$N = 1{,}5333.$$

Das Mittel aus den beiden Werten von L. Matthiessen und Klingberg für den Totalindex ist 1,5357.

Es möge hier hervorgehoben werden, dass L. Matthiessen nachgewiesen hat, dass in allen Augen von Wirbeltieren gewisse Konstanten sich wiederholen, namentlich die Brechungsindices der Hornhaut, der Linsenkapsel und der flüssigen Augenmedien[2], dass dagegen die Brechungsindices des Kernzentrums bei allen Tierarten wechseln.

---

[1] L. Matthiessen, Die Differenzialgleichungen etc. § 4 u. § 5.

[2] L. Matthiessen, Die neueren Fortschritte etc. S. 23, Tabelle 6.

Tabelle X.

Geschlecht und Alter des Tieres	S. $1^1/_2$	S. $1^1/_2$	S. 2	H. 2	S. 3	H. 3	H. 4	H. 4.	H. 4	S. 5	Mittel
Dest. Wasser n_D	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340
Hornhaut N_h	1,3755	1,3762	1,3754	1,3769	1,3764	1,3740	1,3780	1,3737	1,3764	1,3765	1,3759
Kammerwasser N_{01}	1,3362	1,3362	1,3362	1,3363	1,3362	1,3363	1,3362	1,3362	1,3361	1,3362	1,3362
Linsenkapsel	1,3687	1,3687	1,3683	1,3682	—	1,3644	1,3678	1,3679	—	1,3698	1,3680
Vord. Kortikalis $N_{1,v}$	1,3845	1,3851	1,3868	1,3834	1,3850	1,3864	1,3840	1,3867	1,3851	1,3848	1,3852
Kernzentrum N_m	1,4573	1,4591	1,4585	1,4588	1,4587	1,4569	1,4580	1,4571	1,4570	1,4579	1,4579
Hint. Kortikalis $N_{1,h}$	1,3851	—	—	1,3852	1,3857	1,3858	1,3845	1,3861	1,3865	1,3863	1,3857
Glaskörper $N_{0,2}$	1,3359	1,3359	1,3359	1,3360	1,3359	1,3360	1,3359	1,3359	1,3358	1,3359	1,3359

D. Berechnung der Kardinalpunkte des Schafsauges.

Bevor zur Berechnung übergegangen wird, folge eine Tabelle der geometrischen und dioptrischen Konstanten, die von L. Matthiessen, Klingberg und vom Verfasser gefunden sind.

Tabelle XI.

Gemessene Objekte		Matthiessen	Klingberg	Meyer
Krümmungsradius der vord. Hornhautfläche, horiz.	$r_{0,\,h}$	12,7	10,37	11,52
„ „ „ „ vertikal	$r_{0,\,v}$	—	—	11,55
„ „ „ Linsenfläche	r_1	11,8	9,8	9,83
„ „ hinteren Linsenfläche	r_2	8,5	8,0	7,70
Ort des vorderen Linsenscheitels S_2	d_1	4,5	4,1	3,45
Ort des Kernzentrums M	d_1+b_1	—	8,6	7,88
Ort des hinteren Linsenscheitels S_3	d_1+d_2	14,5	14,1	13,37
Achse der Krystalllinse	d_2	10,0	10,0	9,92
Durchmesser der Linse		—	13,9	14,58
Ort der Retina R	$S_1R.$	27,5	25,75	26,74
Brechungsindex des destill. Wassers	n_D	—	1,3336	1,3310
„ der Hornhaut	N_h	—	1,3761	1,3759
„ des Kammerwassers	$N_{0,\,1}$	—	1,3362	1,3362
„ der Linsenkapsel		1,3665	1,3780	1,3680
„ der vord. Kortikalis	$N_{1,\,v}$	—	1,3850	1,3852
„ des Kernzentrums	N_m	1,4595	1,4575	1,4579
„ der hinteren Kortikalis	$N_{1,\,h}$	—	—	1,3857
„ des Glaskörpers	$N_{0,\,2}$	1,3347	1,3357	1,3359
Totalindex (berechnet)		1,5387	1,5328	1,5333

Die Berechnung werde sowohl mittelst Determinanten[1] als auch nach der Kombinationsmethode[2] durchgeführt.

[1] L. Matthiessen, Beiträge etc. § 3.

[2] Derselbe, Die Differenzialgleichungen etc. S. 501,

1. Die Methode der Determinanten.

Statt der geschichteten Krystalllinse wird eine homogene zu Grunde gelegt, deren absoluter Totalindex vorher zu 1,5333 berechnet wurde. Die optischen Konstanten des mittleren Schafsauges sind nach obiger Tabelle folgende:

$$r_0 = 11{,}535;\ r_1 = 9{,}83;\ r_2 = -7{,}70;\ d_1 = 3{,}45;\ d_2 = 9{,}92$$

$$n_1 = 1{,}3360;\ n_2 \frac{1{,}5333}{1{,}3360} = 1{,}1476;\ n_3 = 1 : 1{,}1476.$$

Die partiellen Brennweiten sind:

$$f_1 = \frac{-r_0}{n_1 - 1} = -34{,}325 \qquad \varphi_1 = \frac{n_1 r_0}{n_1 - 1} = 45{,}860$$

$$f_2 = \frac{-r_1}{n_2 - 1} = -66{,}594 \qquad \varphi_2 = \frac{n_2 r_1}{n_2 - 1} = 76{,}424$$

$$f_3 = \frac{-r_2}{n_3 - 1} = -59{,}865 \qquad \varphi_3 = \frac{n_3 r_2}{n_3 - 1} = 52{,}165.$$

Demnach sind die sekundären Fokalinterstitien

$$J_1 = f_2 - \varphi_1 + d_1 = -109{,}005;$$
$$J_2 = f_3 - \varphi_2 + d_2 = -126{,}369$$

und die Interstitialdeterminante

$$R_2 = \begin{Bmatrix} J_1 \varphi_2 \\ -f_2 J_2 \end{Bmatrix} = J_1 J_2 + f_2 \varphi_2 = 8685{,}405.$$

Hieraus findet man:

$$f = \frac{f_1 f_2 . f_3}{R_2} = -15{,}7555,\ \varphi = \frac{\varphi_1 . \varphi_2 . \varphi_3 (-1)^2}{R_2} = +21{,}0502$$

$$\alpha'_1 = f - \left\{ f_1 + \frac{f_1 \varphi_1 J_2}{R_2} \right\} = -4{,}3338$$

$$\alpha'_2 = \varphi - \left\{ \varphi_3 - \frac{\varphi_3 f_3 J_1}{R_2} \right\} = 8{,}0780$$

$$k_1 = -\varphi - \left\{ f_1 + \frac{f_1 \varphi_1 J_2}{R_2} \right\} = -9{,}6285$$

$$k_2 = -f - \left\{ \varphi_3 - \frac{\varphi_3 f_3 J_1}{R_2} \right\} = 2{,}7833$$

$$\varepsilon = H\alpha\, H\beta = 0{,}9582.$$

Wir erhalten nun folgende Zusammenstellung für die Örter der Kardinalpunkte bezüglich des Hornhautscheitels S_1:

Tabelle XII.

Ort des vorderen Augenbrennpunktes	$S_1 F$	— 11,4218 mm
Ort des I. Hauptpunktes	$S_1 H\alpha$	4,3338 „
„ „ II. „	$S_1 H\beta$	5,2920 „
„ „ I. Knotenpunktes	$S_1 K\alpha$	9,6285 „
„ „ II. „	$S_1 K\beta$	10,5867 „
Ort des hinteren Augenbrennpunktes	$S_1 \Phi$	26,3422 „
Ort der Retina	$S_1 R$	26,74 „

Es ergiebt sich also für das Auge des Schafes eine Myopie von 0,3978 mm. Man findet den Abstand des Fernpunktes vom vorderen Brennpunkt, wenn man das Auge als für die Ferne akkommodiert annimmt, aus der Brennpunktskoordinatenformel:

$$\zeta \,.\, \zeta_1 = f \,.\, \varphi$$

$$\Phi R = 0{,}3978 = \zeta_1.$$

Die Werte eingesetzt, giebt:

$$\zeta = \frac{-15{,}7555 \,.\, 21{,}0502}{0{,}3978} = -833{,}726 \text{ mm}.$$

Hieraus resultiert eine Ametropie (Myopie) des Auges von — 1,1994 Dioptrien.

2. Die Kombinationsmethode.

a. Das Hornhautsystem.

Aus den gemessenen Daten

$$r_0 = 11{,}535 \quad N_0 = 1{,}3360 = n_1$$

finden wir

$$f = -34{,}325, \quad \varphi = 45{,}860.$$

b) Das Linsensystem.

Wir kombinieren jede Hälfte mit der angrenzenden Flüssigkeit. Die gefundenen Konstanten sind

$r_1 = 9{,}83$; $r_2 = -7{,}70$; $b_1 = 4{,}43$, $b_2 = 5{,}49$; $N_1 = 1{,}3854$

$\zeta = 0{,}0523$.

α) **Die vordere Linsenhälfte.**

Wir erhalten

$$f_1 = \frac{-r_1}{n_2 - 1}; \quad \varphi_1 = \frac{r_1 n_2}{n_2 - 1}$$

hierin ist $n_2 = \frac{N_1}{N_0} = 1{,}0369$

$$f_2 = \frac{-r_1}{2\zeta\left(1 - {}^1/_3\,\zeta\frac{b_1}{r_1}\right)}; \quad \varphi_2 = (1+\zeta)\frac{r_1}{2\zeta\left(1 - {}^1/_3\,\zeta\frac{b_1}{r_1}\right)}$$

$$-a_1' = {}^1/_2\,b_1\left(1 - {}^1/_2\,\zeta + {}^1/_6\,\zeta\frac{b_1}{r_1}\right);$$

$$a_2' = {}^1/_2\,b_1\left(1 + {}^1/_6\,\zeta + {}^1/_6\,\zeta\frac{b_1}{r_1}\right)$$

Das Interstitium ist:

$$\varepsilon = b_1 - (-a_1' + a_2'),$$

wo die Hauptpunktsdistanzen von der Vorderfläche und vom Kernzentrum M abzurechnen sind. Die Rechnung ergab:

$f_1 = -266{,}129$	$\varphi_1 = 275{,}959$
$f_2 = -94{,}6648$	$\varphi_2 = 99{,}6187$
$-a_1' = 2{,}1657$	$a_2' = 2{,}2044$

$\varepsilon = 0{,}0598$.

Daraus ergeben sich die Hauptbrennweiten und Hauptpunktsdistanzen der mit dem Kammerwasser kombinierten vorderen Linsenfläche $S_2 M$ nach den Formeln:

$$f = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_2 - \varphi_1 + D}; \quad \varphi = \frac{-\varphi_1 \varphi_2}{f_2 - \varphi_1 + D}$$

$$-a_1 = \frac{f \cdot D}{f_2}; \quad a_2 = \frac{\varphi D}{\varphi_1}$$

worin $D = -a_1' = 2{,}1657$.

Wir erhielten:

$$f = -68{,}3742; \quad \varphi = 74{,}6101$$
$$-a_1' = 1{,}5642; \quad a_2' = 0{,}5856.$$

Die Örter der beiden Hauptpunkte $H_{1,1}$ und $H_{2,1}$ auf den Scheitel S_2 resp. auf das Kernzentrum bezogen, liefert:

$$H_{1,1}\,S_2 = +a_1 = -1{,}5642 \text{ mm}$$
$$H_{2,1}\,M = a_2' + a_2 = 2{,}7899 \text{ mm}$$
$$\varepsilon = b_1 - (-H_{1,1}\,S_2 + H_{2,1}\,M) = 0{,}0758 \text{ mm}.$$

β) Die hintere Linsenhälfte.

Die dioptrischen Elemente sind

$$f_1 = -(1+\zeta)\left(\frac{r_2}{2\zeta\left(1 - {}^1/_3\,\zeta\,\frac{b_2}{r_2}\right)}\right); \quad \varphi_1 = \frac{r_2}{2\zeta\left(1 - {}^1/_3\,\zeta\,\frac{b_2}{r_2}\right)}$$

$$f_2 = \frac{-r_2 n_2}{n_2 - 1}; \quad \varphi_2 = \frac{r_2}{n_2 - 1}; \quad n_2 = \frac{N_1}{N_0} = 1{,}0369$$

$$-a_1'' = {}^1/_2\,b_2\left(1 + {}^1/_6\,\zeta + {}^1/_6\,\zeta\,\frac{b_2}{r_2}\right)$$

$$a_2'' = {}^1/_2\,b_2\left(1 - {}^1/_2\,\zeta + {}^1/_6\,\zeta\,\frac{b_2}{r_2}\right)$$

$$\varepsilon = b_2 - (-a_1'' + a_2'')$$

Die Rechnung ergab:

$$f_1 = -78{,}3945 \text{ mm}; \quad \varphi_1 = 74{,}4960 \text{ mm}$$
$$f_2 = -216{,}1631 \text{ mm}; \quad \varphi_2 = 208{,}4631 \text{ mm}$$
$$-a_1'' = 2{,}7860 \text{ mm}; \quad a_2'' = 2{,}6902 \text{ mm}$$
$$\varepsilon = 0{,}0137 \text{ mm}.$$

Hieraus erhält man die Hauptpunktsdistanzen und Hauptbrennweiten der mit dem Glaskörper kombinierten hinteren Linsenhälfte aus den obigen Formeln. D ist gleich $a_2'' = 2{,}6902$

$$f = -58{,}8467 \text{ mm}; \quad \varphi = 53{,}9283$$
$$-a_1 = 0{,}7324 \text{ mm}; \quad a_2 = 1{,}9475.$$

Bezieht man die Örter der Hauptpunkte $H_{1,2}\,H_{2,2}$ auf das Kernzentrum und den Scheitel S_3 der Hinterfläche, so resultiert:

$$H_{1,2}\,M = (a_1 + a_1'') = -\,3{,}5184 \text{ mm}$$
$$H_{2,2}\,S_3 = a_2 = 1{,}9475 \text{ mm}$$
$$\varepsilon = b_2 - (-\,H_{1,2}\,M + H_{2,2}\,S_3) = 0{,}0241 \text{ mm}.$$

γ) Das ganze Linsensystem.

Die im Vorhergehenden berechneten dioptrischen Elemente sind:

$$f_1 = -\,68{,}3742 \text{ mm}; \quad \varphi_1 = 74{,}6101 \text{ mm}$$
$$f_2 = -\,58{,}8467 \text{ mm}; \quad \varphi_2 = 53{,}9283 \text{ mm}.$$

D ist in diesem Falle $+\,H_{1,2}\,H_{2,1} = 6{,}3083$ mm.

Man findet folgende Werte für die Hauptbrennweiten und Hauptpunktdistanzen der Krystalllinse in den flüssigen Augenmedien:

$$-\,f = \varphi = 31{,}6440 \text{ mm}; \quad -\,a_3 = 3{,}3923 \text{ mm}$$
$$a_4 = 2{,}6756 \text{ mm}.$$

Bezeichnet man die neuen Hauptpunkte mit $H_\alpha\,H_\beta$ so ist

$$H_\alpha\,S_2 = a_1 + a_3 = -\,4{,}9565 \text{ mm}$$
$$H_\beta\,S_3 = a_2 + a_4 = \quad 4{,}6231 \text{ mm}$$
$$\varepsilon = b_1 + b_2 - (-\,H_\alpha\,S_2 + H_\beta\,S_3) = 0{,}3404 \text{ mm}.$$

c. Das ganze Auge.

Die Kardinalpunkte des ganzen Auges ergeben sich aus der Kombination des Hornhautsystems mit dem Linsensystem. Diese geschieht auf Grund der Daten:

$$f_1 = -\,34{,}3253 \text{ mm}; \quad \varphi_1 = 45{,}8603 \text{ mm}$$
$$f_2 = -\,31{,}6448 \text{ mm}; \quad \varphi_2 = 31{,}6448 \text{ mm}$$
$$D = d_1 - H_\alpha\,S_2 = 8{,}4065.$$

Demgemäss sind die Hauptbrennweiten und Hauptpunktdistanzen

$$f = -\,15{,}7198 \text{ mm}; \quad \varphi = 21{,}0025 \text{ mm}$$
$$-\,a_1 = 4{,}1760 \text{ mm}; \quad a_2 = 3{,}8499 \text{ mm}.$$

Sind Ha Hb die Hauptpunkte des ganzen Auges, so ist:

$$S_1\,Ha = 4{,}1760 \text{ mm}; \quad Hb\,S_3 = H\beta\,S_3 + a_2 = 8{,}4730 \text{ mm}$$
$$S_1\,Hb = 4{,}8970 \text{ mm}; \quad Ha\,Hb = \varepsilon = 0{,}7210 \text{ mm}.$$

Die nach der Kombinationsmethode gefundenen Örter der Kardinalpunkte des Schafsauges sind noch in einer Tabelle zusammengestellt.

Tabelle XIII.

Ort des vorderen Augenbrennpunktes	S_1 F	— 11,5438 mm
Ort des I. Hauptpunktes	S_1 Hα	4,1760 „
„ „ II. „	S_1 Hβ	4,8970 „
Ort des I. Knotenpunktes	S_1 Kα	9,4587 „
„ „ II. „	S_1 Kβ	10,1797 „
Ort des hinteren Augenbrennpunktes	S_1 Φ	25,8995 „
Ort der Retina R	S_1 R	26,74 „

Der Ort der Netzhaut wurde gleich 26,74 mm gemessen. Es ist also eine Ametropie von 26,74—25,8995 = 0,8405 mm vorhanden oder in Dioptrien ausgedrückt = — 2,5457 D.

Somit ist also für das Schafsauge eine ziemlich hochgradige Myopie gefunden, ein Resultat, welches wohl als eine Folge der gewöhnlichen Lebensweise dieser Tiere angesehen werden kann. Da sie sich gewöhnen, sehr nahe Gegenstände zu fixieren, so ist es sehr wahrscheinlich, dass sich mit der Zeit eine Kurzsichtigkeit herausbildet.

Die sich aus den Konstanten für die Örter der Kardinalpunkte der Schafsaugen mit homogener und geschichteter Linse ergebenden Werte sind in der folgenden Tabelle mit den von L. Matthiessen und Klingberg gefundenen angegeben.

Tabelle XIV.

Kardinalpunkte des Schafsauges.		Matthiessen	Klingberg		Meyer	
		Homogen-Linse	Geschicht. Linse	Homogen-Linse	Geschicht. Linse	Homogen-Linse
Ort des vorderen Hauptbrennpunktes	$S_1 F$	— 12,448	— 11,128	— 11,034	— 11,544	— 11,422
„ „ I. Hauptpunktes	$S_1 H\alpha$	4,978	4,350	4,459	4,176	4,334
„ „ II. „	$S_1 H\beta$	6,605	4,830	5,224	4,897	5,292
„ „ I. Knotenpunktes	$S_1 K\alpha$	10,816	9,537	9,664	9,459	9,629
„ „ II. „	$S_1 K\beta$	11,903	10,027	10,429	10,180	10,587
„ „ hinteren Hauptbrennpunktes	$S_1 \Phi$	29,329	25,495	25,923	25,900	26,342
Ort der Retina R	$S_1 R$	27,5	25,75	25,75	26,74	26,74
Ametropie des Auges in Dioptrien	ΦR	+ 4,51 D	— 0,4 D	+ 0,54 D	— 2,55 D	— 1,20 D

II. Das Auge des Hundes.

A. Die Oberflächengestalt der Hornhaut.

An den Augen einer vierjährigen, zweijährigen und einer halbjährigen Dogge wurden ebenfalls die Untersuchungen über die Oberflächengestalt der Hornhaut angestellt; das Verfahren war genau dasselbe wie das bei den Schafsaugen angewandte. Die drei ersten Tabellen beziehen sich auf den horizontalen Meridian. Tabelle I giebt eine Zusammenstellung von je zwei zusammengehörigen Ordinaten und Abscissen, Tabelle II die grossen und kleinen Halbachsen, die Krümmungsradien und die Verhältnisse a : b. In Tabelle III findet man die zu den angenommenen Abscissen berechneten und gemessenen Werte der Ordinaten, die Differenzen zwischen y und η und die Winkel v, die von den grossen Halbachsen der Ellipsen und den Augenachsen eingeschlossen werden.

a) Der horizontale Meridian.

Tabelle I.

Auge	Abscissen	Ordinaten
I.	$x_1 = 4{,}0$ mm	$y_1 = 7{,}95$ mm
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}15$ „
II.	$x_1 = 3{,}5$ „	$y_1 = 7{,}65$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}23$ „
III.	$x_1 = 3{,}5$ „	$y_1 = 6{,}86$ „
	$z_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 3{,}90$ „

Tabelle II.

Auge	Grosse Halbachse a	Kleine Halbachse b	Krümmungsradius ϱ	Verhältnis a : b
I.	18,67 mm	12,85 mm	8,85 mm	1,45
II.	19,58 „	13,40 „	9,18 „	1,46
III.	11,21 „	9,44 „	7,96 „	1,19

Tabelle III.

Auge	x	ber. η	beob. y	$y-\eta$	v
I.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 2{,}95$ mm	$y_3 = 2{,}94$ mm	$-0{,}01$ mm	$3^0\,49'\,59''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}05$ „	$y_4 = 5{,}06$ „	$+0{,}01$ „	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}79$ „	$y_5 = 5{,}81$ „	$+0{,}02$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}42$ „	$y_6 = 6{,}46$ „	$+0{,}04$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 6{,}99$ „	$y_7 = 7{,}05$ „	$+0{,}06$ „	
	$x_8 = 3{,}5$ „	$\eta_8 = 7{,}49$ „	$y_8 = 7{,}52$ „	$+0{,}03$ „	
II.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 3{,}01$ mm	$y_3 = 3{,}01$ mm	—	$3^0\,26'\,1''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}15$ „	$y_4 = 5{,}13$ „	$-0{,}02$ mm	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}90$ „	$y_5 = 5{,}93$ „	$+0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}56$ „	$y_6 = 6{,}54$ „	$-0{,}02$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}13$ „	$y_7 = 7{,}17$ „	$+0{,}04$ „	
III.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 2{,}79$ mm	$y_3 = 2{,}84$ „	$+0{,}05$ mm	$3^0\,56'\,50''$
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 4{,}72$ „	$y_4 = 4{,}71$ „	$-0{,}01$ „	
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}39$ „	$y_5 = 5{,}36$ „	$-0{,}03$ „	
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 5{,}95$ „	$y_6 = 5{,}94$ „	$-0{,}01$ „	
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 6{,}43$ „	$y_7 = 6{,}41$ „	$-0{,}02$ „	

Der Unterschied zwischen den gemessenen und berechneten Ordinaten ist also so gering, dass der horizontale Meridionalschnitt wiederum sehr angenähert als eine Ellipse aufgefasst werden kann.

Die Tabellen IV bis VI haben für den vertikalen Meridian dieselbe Bedeutung wie die Tabellen I bis III für den horizontalen.

Tabelle IV.

Auge	Abscissen	Ordinaten
I.	$x_1 = 3{,}5$ mm	$y_1 = 7{,}50$ mm
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}14$ „
II.	$x_1 = 3{,}5$ „	$y_1 = 7{,}70$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 4{,}21$ „
III.	$x_1 = 3{,}5$ „	$y_1 = 6{,}87$ „
	$x_2 = 1{,}0$ „	$y_2 = 3{,}90$ „

Tabelle V.

Auge	Grosse Halbachse a	Kleine Halbachse b	Krümmungsradius ϱ	Verhältnis a : b
I.	20,14 mm	13,31 mm	8,80 mm	1,51
II.	27,56 „	15,79 „	9,04 „	1,75
III.	11,56 „	9,58 „	7,95 „	1,21

Tabelle VI.

Auge	x	η	y	y—η
I.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 2{,}95$ mm	$y_3 = 2{,}96$ mm	+ 0,01 mm
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}04$ „	$y_4 = 5{,}07$ „	+ 0,03 „
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}78$ „	$y_5 = 5{,}79$ „	+ 0,01 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}42$ „	$y_6 = 6{,}43$ „	+ 0,01 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 6{,}99$ „	$y_7 = 6{,}97$ „	— 0,02 „
II.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 2{,}99$ mm	$y_3 = 2{,}99$ mm	—
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 5{,}14$ „	$y_4 = 5{,}14$ „	—
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}90$ „	$y_5 = 5{,}86$ „	— 0,04 mm
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 6{,}57$ „	$y_6 = 6{,}51$ „	— 0,06 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 7{,}16$ „	$y_7 = 7{,}12$ „	— 0,04 „
III.	$x_3 = 0{,}5$ mm	$\eta_3 = 2{,}79$ mm	$y_3 = 2{,}79$ mm	—
	$x_4 = 1{,}5$ „	$\eta_4 = 4{,}72$ „	$y_4 = 4{,}71$ „	— 0,01 mm
	$x_5 = 2{,}0$ „	$\eta_5 = 5{,}39$ „	$y_5 = 5{,}41$ „	+ 0,02 „
	$x_6 = 2{,}5$ „	$\eta_6 = 5{,}95$ „	$y_6 = 5{,}93$ „	— 0,02 „
	$x_7 = 3{,}0$ „	$\eta_7 = 6{,}44$ „	$y_7 = 6{,}44$ „	—

Auch der vertikale Meridian kann somit wieder sehr angenähert als Ellipse gelten.

In der nächsten Tabelle VII. sind die Krümmungsradien der horizontalen und vertikalen Schnitte und die Differenzen $\varrho h - \varrho v$ angeführt; letztere lassen auf einen Astigmatismus schliessen und zwar auf einen gleichmässigen, da die Differenzen stets einen positiven Wert haben.

Tabelle VII.

Auge	ϱh	ϱv	$\varrho h - \varrho v$
I.	8,85 mm	8,80 mm	+ 0,05
II.	9,18 „	9,04 „	+ 0,14
III.	7,96 „	7,95 „	+ 0,01

Dieselbe Erwägung wie beim Schafsauge führt uns auch beim Auge des Hundes zu dem Schluss, dass die Oberflächengestalt der Hornhaut das Scheitel-Segment eines oblongen Rotationsellipsoides zu sein scheint.

B. Die Krümmungsradien und die linearen Dimensionen.

Es wurden von denselben Augen die Krümmungsradien der Hornhaut im horizontalen und vertikalen Meridian mit Hilfe des im ersten Teil beschriebenen Apparates zuerst bestimmt, und dann die Gypsabgüsse hergestellt mit Ausnahme des Auges von dem dreiviertel Jahre alten Spitz. Die Radien der Hornhaut sowie der vorderen und hinteren Linsenfläche sind in Tabelle VIII aufgezeichnet.

Tabelle VIII.

Geschlecht und Alter des Tieres.	Dogge männlich 4 J.	Dogge m. 2 J.	Dogge m. 1/2 J.	Spitz m. 3/4 J.	Mittel
Krümmungsradius der Hornhaut horizontal $r_{0\,h}$	8,93	9,11	8,00	8,84	8,68
	8,79	9,03	7,96	8,82	
	8,81	9,07	7,98	8,83	
Krümmungsradius der Hornhaut vertikal $r_{0\,v}$	8,83	9,02	7,98	8,80	8,62
	8,77	8,91	7,93	8,73	
	8.80	8,96	7,96	8,76	
Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche r_1	6,65	6,82	6,74	6,40	6,54
	5,57	6,76	6,65	6,40	
	6,61	6,79	6,70	6,40	
Krümmungsradius der hinteren Linsenfläche r_2	5,53	5,49	5,51	5,76	5,51
	5,48	5,32	5,41	5,66	
	5,51	5,37	5,44	5,69	

Die oben für die Krümmungsradien der Hornhaut der Augen der drei ersten Tiere gemessenen Grössen stimmen mit denen, die aus den mit dem Projektionsapparat gewonnenen Ellipsen berechnet wurden, hinreichend überein (siehe Tabelle VII).

Ebenso wie bei dem Auge des Schafes wurden die Messungen der Längsdimensionen an gefrorenen Bulben vorgenommen und es ergaben sich folgende Werte:

Tabelle IX.

Geschlecht und Alter des Tieres	Dogge m. 4 J.	Dogge m. 2 J.	Dogge m. 1/2 J.	Spitz m. 3/4 J.	Mittel
Dicke der Hornhaut	0,5 mm	0,4 mm	0,5 mm	0,5 mm	0,48 mm
Ort des vorderen Linsenscheitels S_2 d_1	5,4 „	5,1 „	4,5 „	4,3 „	4,83 „
Ort des Kernzentrums M $d_1 + b_1$	8,9 „	8,7 „	7,6 „	7,8 „	8,25 „
Ort des hinteren Linsenscheitels S_3 $d_1 + d_2$	13,0 „	12,8 „	11,0 „	11,9 „	12,18 „
Achse der Krystalllinse d_2	7,6 „	7,7 „	6,5 „	7,6 „	7,35 „
Ort der Retina R $S_1 R$	22,6 „	22,1 „	20,9 „	21,8 „	21,85 „
Durchmesser der Krystalllinse	11,2 „	11,7 „	10,5 „	11,1 „	11,13 „

C. Die Brechungsindices der Augenmedien.

Dieselben wurden wiederum mit dem Abbe'schen Refraktometer bestimmt; die so erhaltenen Resultate sind in Tabelle X angegeben.

Tabelle X.

Geschlecht und Alter des Tieres	Dogge m. 4 J.	Dogge m. 2 J.	Dogge m. 1/2 J.	Spitz m. 3/4 J.	Mittel
Dest. Wasser n_D	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340	1,3340
Hornhaut N_h	1,3753	1,3771	1,3779	—	1,3768
Kammerwasser N_{01}	1,3361	1,3361	1,3361	1,3362	1,3361
Linsenkapsel	1,3690	1,3725	1,3713	1,3727	1,3714
Vord. Kortikalis $N_{1,v}$	1,3839	1,3838	—	1,3845	1,3841
Kernzentrum N_m	1,4487	1,4492	1,4457	1,4471	1,4477
Hint. Kortikalis $N_{1,h}$	—	1,3852	1,3823	1,3853	1,3843
Glaskörper $N_{0,2}$	1,3358	1,3358	1,3358	1,3359	1,3358

D. Die Berechnung der Kardinalpunkte der Augen vom Hund mittelst Determinanten.

Zuerst folge eine Tabelle der von L. Matthiessen, Valentin[1] und vom Verfasser gefundenen Konstanten.

[1] Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol., XIX, S. 78.

Tabelle XI.

Gemessene Objecte		Matthiessen	Valentin	Meyer
Krümmungsradius der vorderen Hornhautfl. horiz.	$r_{0\,h}$	8,5 mm	—	8,68 mm
„ „ „ „ vert.	$r_{0\,v}$	—	—	8,62 „
„ der vorderen Linsenfl.	r_1	6,5 „	—	6,54 „
„ der hinteren „	r_2	5,5 „	—	5,51 „
Ort des vorderen Linsenscheitels S_2	d_1	4,5 „	—	4,83 „
„ „ Kernzentrums M	$d_1 + b_1$	8,25 „	—	8,25 „
„ „ hinteren Linsenscheitels S_3	$d_1 + d_2$	12,25 „	—	12,18 „
Achse der Krystalllinse	d_2	7,75 „	—	7,35 „
Durchmesser der Linse		—	—	11,13 „
Ort der Retina R	$S_1 R$	21,25 „	—	21,85 „
Brechungsindex des dest. Wassers	n_D	1,3338	1,3343	1,3340
„ der Hornhaut	N_h	—	1,3739	1,3768
„ des Kammerwassers	$N_{0,1}$	—	1,3379	1,3361
„ der Linsenkapsel		—	—	1,3714
„ der vorderen Kortikalis	$N_{1,v}$	1,3750	—	1,3841
„ des Kernzentrums	N_m	1,4482	1,4438	1,4477
„ der hinteren Kortikalis	$N_{1,h}$	—	—	1,3843
„ des Glaskörpers	$N_{0,2}$	1,3358	1,3372	1,3358
Totalindex (berechnet)	N	1,5247	—	—

1. Berechnung der Kardinalpunkte des mittleren Auges von zwei grossen Doggen.

Aus den Konstanten der Augen der vierjährigen und zweijährigen Dogge sind die Mittel genommen und mit Hilfe dieser Grössen sind die Kardinalpunkte des mittleren Auges berechnet. Tafel IV.

Die optischen Konstanten sind:

$$r_0 = 8{,}925;\ r_1 = 6{,}70;\ r_2 = -5{,}45;\ d_1 = 5{,}25;\ d_2 = 7{,}65$$

$$n_1 = 1{,}3360;\ n_2 = \frac{1{,}5163}{1{,}3360} = 1{,}1349;\ n_3 = 1 : 1{,}1349 = 0{,}8811$$

$$\zeta = 0{,}0468 \quad N = 1{,}5163.$$

Die partiellen Brennweiten sind:

$$f_1 = \frac{-r_0}{n_1 - 1} = -26{,}5625; \quad \varphi_1 = \frac{n_1 r_0}{n_1 - 1} = 35{,}4875$$

$$f_2 = \frac{-r_1}{n_2 - 1} = -49{,}6480; \quad \varphi_2 = \frac{n_2 r_1}{n_2 - 1} = 56{,}3480$$

$$f_3 = \frac{-r_2}{n_3 - 1} = -45{,}8337; \quad \varphi_3 = \frac{n_3 r_2}{n_3 - 1} = 40{,}3837.$$

Demnach sind die sekundären Fokalinterstitien

$$J_1 = f_2 - \varphi_1 + d_1 = -79{,}8865,$$
$$J_2 = f_3 - \varphi_2 + d_2 = -94{,}5317$$

und die Interstitialdeterminante

$$R_2 = J_1 J_2 + f_2 \varphi_2 = 4754{,}24.$$

Nun ergiebt sich

$$f = \frac{f_1 f_2 f_3}{R_2} = -12{,}7138; \quad \varphi = \frac{\varphi_1 \varphi_2 \varphi_3}{R_2} = 16{,}8956$$

$$\alpha_1' = f - \left\{ f_1 + \frac{f_1 \varphi_1 J_2}{R_2} \right\} = -4{,}8944$$

$$\alpha_2' = \varphi - \left\{ \varphi_3 - \frac{\varphi_3 f_3 J_1}{R_2} \right\} = \quad 7{,}7036$$

$$k_1 = -\varphi - \left\{ f_1 + \frac{f_1 \varphi_1 J_2}{R_2} \right\} = -9{,}1662$$

$$k_2 = -f - \left\{ \varphi_3 - \frac{\varphi_3 f_3 J_1}{R_2} \right\} = \quad 3{,}4318$$

$$\varepsilon = H\alpha\, H\beta = 0{,}3020.$$

Die Zusammenstellung der Kardinalpunkte dieses und der folgenden Augen folgt in Tabelle XII.

2. Berechnung der Kardinalpunkte des Auges der halbjährigen Dogge.

In diesem Falle sind die Konstanten:

$$r_0 = 7{,}965; \; r_1 = 6{,}25; \; r_2 = -5{,}95; \; d_1 = 4{,}50; \; d_2 = 6{,}50;$$
$$\zeta = 0{,}0459.$$

Der berechnete Totalindex ist 1,5112

$n_1 = 1{,}3360$; $n_2 = \frac{1{,}5112}{1{,}3360} = 1{,}1311$; $n_3 = \frac{1}{1{,}1311} = 0{,}8841$.

Daraus ergaben sich die partiellen Brennweiten

$f_1 = -23{,}7054$; $\varphi_1 = 31{,}6704$; $f_2 = -47{,}6699$; $\varphi_2 = 53{,}9199$

$f_3 = -51{,}3307$; $\varphi_3 = 45{,}3807$.

Die sekundären Fokalinterstitien und die Interstitialdeterminante sind:

$J_1 = -74{,}8403$; $J_2 = -98{,}7506$; $R_2 = 4820{,}168$.

Daraus resultiert:

$f = -12{,}0339$; $\varphi = 16{,}0772$; $\alpha_1 = -3{,}7093$; $\alpha_2 = 6{,}8643$

$k_1 = -7{,}7526$; $k_2 = 2{,}8210$; $\varepsilon = 0{,}4264$.

3. Berechnung der Kardinalpunkte des Auges von dem dreivierteljährigen Spitz.

Die Konstanten sind hier:

$r_0 = 8{,}80$; $r_1 = 6{,}40$; $r_2 = -5{,}70$; $d_1 = 4{,}3$; $d_2 = 7{,}6$; $\zeta = 0{,}0449$

$N = 1{,}5116$; $n_1 = 1{,}3360$; $n_2 = 1{,}1315$; $n_3 = 0{,}8838$.

Daraus ergeben sich die partiellen Brennweiten:

$f_1 = -26{,}1905$; $\varphi_1 = 34{,}9905$; $f_2 = -48{,}6803$; $\varphi_2 = 55{,}0803$

$f_3 = -49{,}0576$; $\varphi_3 = 43{,}3576$.

Nach den vorhergehenden Formeln ist:

$J_1 = -79{,}3708$; $J_2 = -96{,}5379$; $R_2 = 4980{,}96$.

Weiter wurde gefunden:

$f = -12{,}5571$; $\varphi = 16{,}7764$; $\alpha_1 = -4{,}1281$; $\alpha_2 = 7{,}3125$

$k_1 = -8{,}3474$; $k_2 = 3{,}0932$; $\varepsilon = 0{,}4594$.

In der jetzt folgenden Tabelle sind die aus den drei Berechnungen gefundenen Kardinalpunkte mit den von L. Mathiessen berechneten aufgeführt.

Tabelle XII.

Kardinalpunkte des Hundeauges		Matthiessen geschicht. Linse	Matthiessen homog. Linse I.	Matthiessen homog. Linse	Meyer homog. Linse I.	Meyer homog. II.	Meyer homog. III.
Ort des vorderen Hauptbrennpunktes	$S_1 F$	— 7,607	— 7,562	— 7,961	— 7,8194	— 8,3246	— 8,4291
„ „ „ I. Hauptpunktes	$S_1 H\alpha$	4,413	4,461	4,292	4,8944	3,7093	4,1281
„ „ „ II. „	$S_1 H\beta$	4,603	4,831	4,677	5,1964	4,1357	4,5875
„ „ „ I. Knotenpunktes	$S_1 K\alpha$	8,449	8,498	8,409	9,1662	7,7526	8,3474
„ „ „ II. „	$S_1 K\beta$	8,639	8,868	8,794	9,4682	8,1790	8,8068
Ort des hinteren Hauptbrennpunktes	$S_1 \Phi$	20,658	20,891	21,048	22,1820	20,2129	21,3639
Ort der Retina R	$S_1 R$	21,25	21,25	21,25	22,35	20,90	21,80
Ametropie des Auges	ΦR	— 3,08 D	— 1,80 D	— 2,25 D	— 0,78 D	— 3,55 D	— 2,07 D

Die Vergleichung der relativen Lage der Örter der Kardinalpunkte.

Setzen wir jetzt noch an die Stelle der Haupt- und Knotenpunktspaare ihre mittleren Punkte H und K, den Ort des Kernzentrums M gleich der Einheit der Dimension und das Verhältnis $S_3 R : S_1 S_2 = t_2 : t_1$, so erhält man folgende Zusammenstellung, die das von L. Matthiessen gefundene Gesetz[1] bezüglich der verschiedenen Ordnungen der Säugetiere bestätigt.

Tabelle XIII.

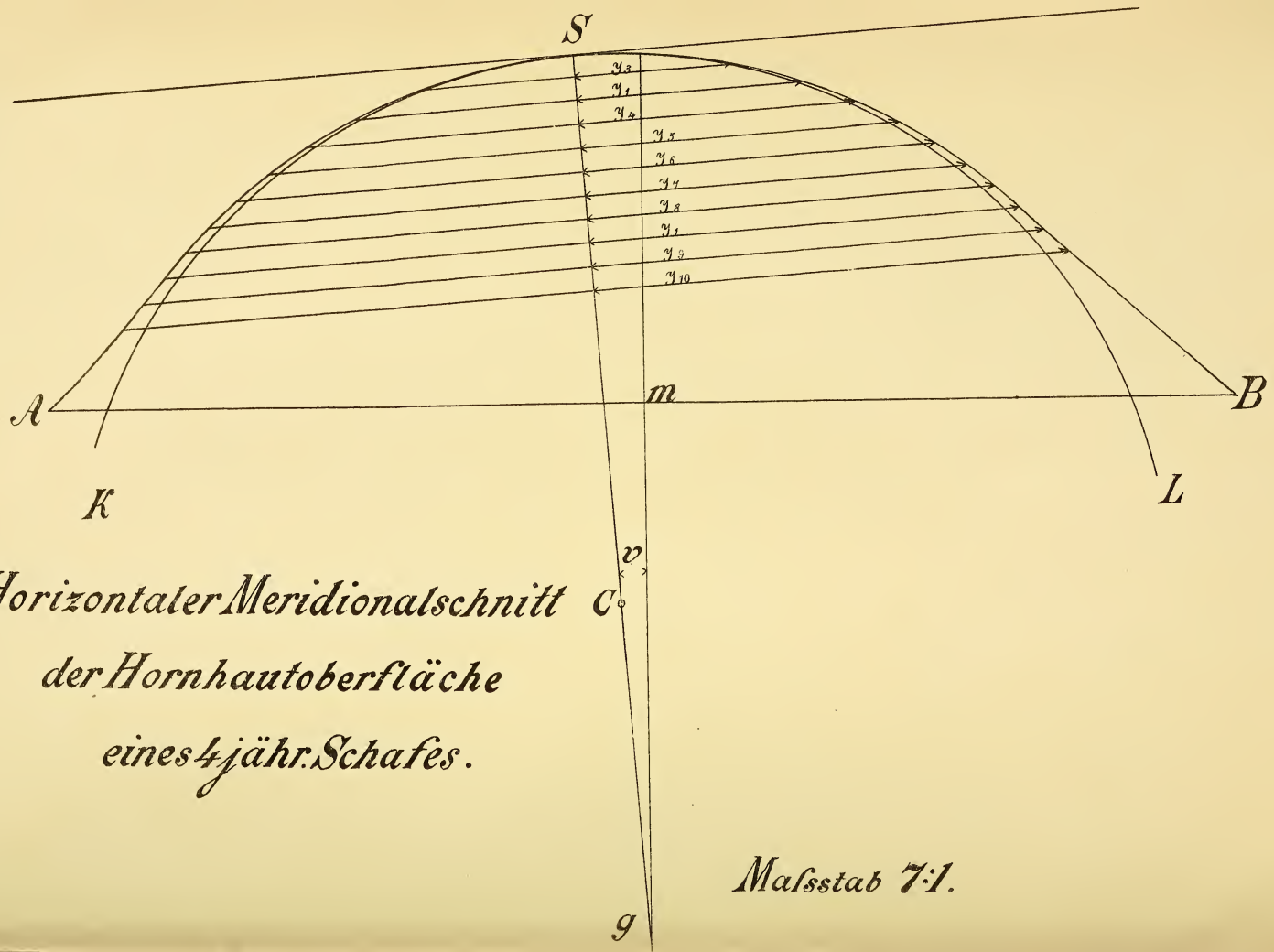
	$S_1 S_2$	$S_1 H$	$S_1 M$	$S_1 K$	$S_1 S_2$	$S_1 R$	$t_2 : t_1$
Huftiere	0,51	0,57	1,00	1,25	1,60	3,26	3,19
Schaf	0,44	0,58	1,00	1,25	1,70	3,39	3,88
Raubtiere	0,55	0,53	1,00	1,03	1,46	2,42	1,80
Dogge	0,60	0,57	1,00	1,06	1,47	2,54	1,80
Spitz	0,55	0,56	1,00	1,10	1,53	2,79	2,30

Vorliegende Untersuchungen wurden im physikalischen Institut der Landesuniversität ausgeführt. An dieser Stelle möge es mir gestattet sein, meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. phil. et med. L. Matthiessen meinen wärmsten Dank auszusprechen für seine der Arbeit gewidmete Teilnahme und für die mir gütigst dabei erteilten Ratschläge.

Rostock, im Februar 1897.

[1] Matthiessen, Beiträge zur Dioptrik etc. § 19.

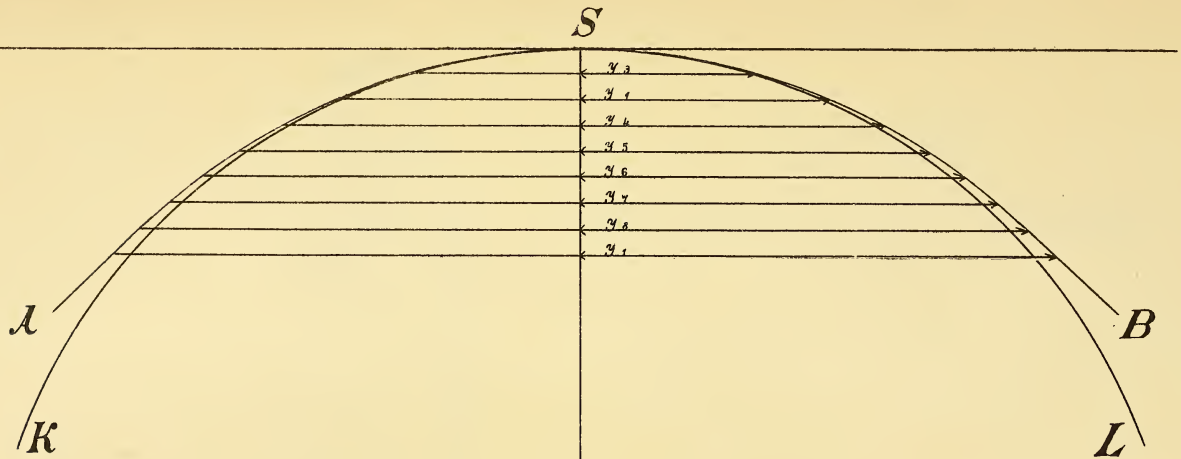
Tafel I.



Horizontaler Meridionalschnitt der Hornhautoberfläche eines 4jähr. Schafes.

Maßstab 7:1.

Tafel II.

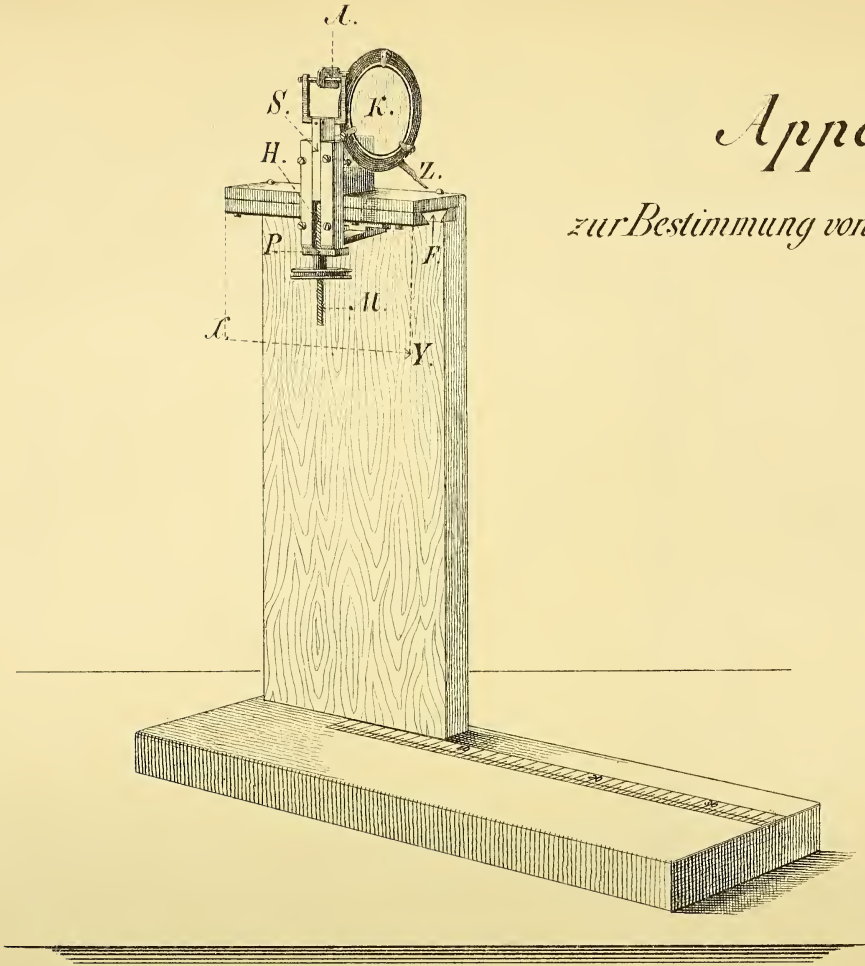


Verticaler Meridionalschnitt
der Hornhautoberfläche
eines 4 jähr. Schafes.

C

Maßstab 7:1

Tafel III.

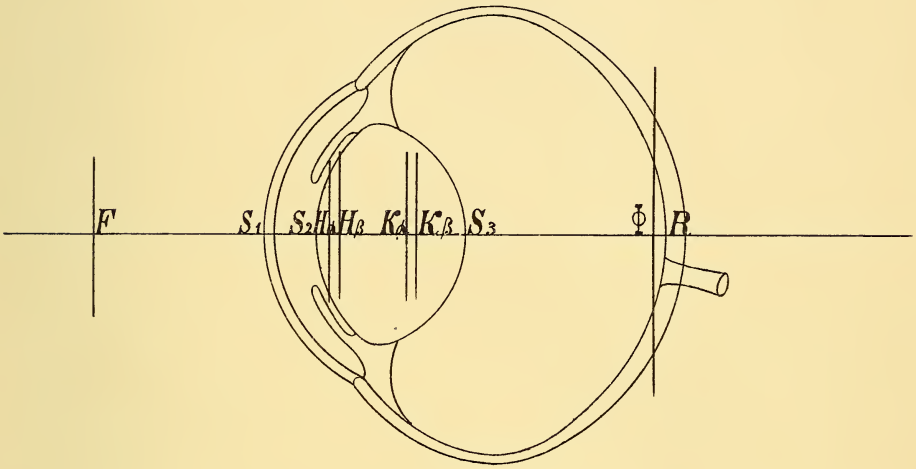


Apparat

zur Bestimmung von Krümmungsradien.

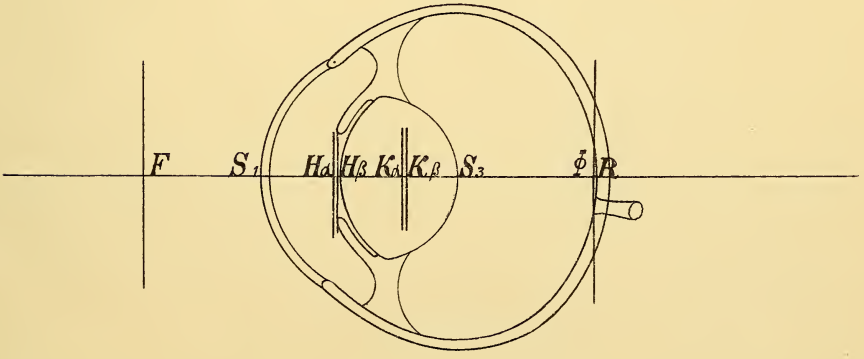
Meridionalschnitt des Auges von Ovis aries

Maßstab 2:1.



Meridionalschnitt des Auges von Canis domesticus

Maßstab 2:1.



3 2044 072 177 496